

# HSLA 100 강재의 용접성 연구 (I)

## A Study on the Weldability of HSLA 100 Steel (I)

박대동, 윤중근, 김광수, 심인옥\*, 박대원\*

현대중공업(주) 산업기술연구소, 울산시 동구 전하동 1

\* 국방과학연구소, 대전시 유성

### 1. 서 론

고강도·고인성 강재의 대표격인 HY 80 및 100 강재는 합금성분이 많고 탄소당량이 높은 화학 조성적 특성을 가지고 있어, 용접후 열영향부에는 매우 취화된 미세조직이 형성되어 인성이 저하되며 용접시 유입되는 확산성 수소로 인한 저온균열의 발생이 용이하다. 따라서 용접재료의 건조 및 100°C 이상의 높은 예열 적용 등은 필수적이며 용접 열영향부의 인성확보를 위하여 최대 용접 입열량을 제한하고 있어 생산성이 높은 용접기법을 사용할 수 없는 실정이다. 이 같은 용접시공상의 제약뿐 아니라 용접후에 실시되는 비파괴검사에 대한 규정 역시 매우 엄격하여 용접생산성이 극히 저하하게 된다. 이에 따라 HY 강재와 동급의 기계적 성질을 지니면서도 용접성이 현저하게 향상된 강재의 개발이 요구되어 왔다. 지속적인 고강도·고인성 강재에 대한 연구로 1980년대 중반에 탄소량의 저감, 결정립 미세화와 석출 강화효과를 이용한 HSLA(high strength low alloy) 강재가 개발되어 ASTM A710에 등록되었다. 국내에서도 1990년대 중반에 HSLA 강재를 개발하였으며, 이를 육상 및 해양분야의 대형 구조물에 적용하여 용접생산성을 향상하고자 노력하고 있다. 일반적으로 HSLA 강재를 사용하면 HY 강재에 비하여 용접 제작비용이 절감되고 용접부의 물성이 우수하다고 보고되고 있으나, 아직 HSLA 강재에 대한 용접은 HY 강재에서 정립된 용접 기술이 그대로 적용되어 HSLA 강재의 장점을 충분하게 활용하지 못하는 실정이다.

본 연구에서는 항복강도 100ksi 급 HSLA 강재에 대한 용접기술을 정립하고자, 국내에서 개발된 HSLA 100 강재를 이용하여 강재의 용접성, 적정 용접재료의 선정 및 용접기법과 조건 등에 대하여 체계적인 연구를 수행하였다. 본 보에서는 HSLA 100 강재와 용접시공방법별 HSLA 100 강재용 용접재료의 저온균열 민감성을 평가하고 적정 용접 조건을 선정하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에 사용된 강재는 주로 32mm 두께의 HSLA 100 강재로, 0.06C-3.49N-0.67Cr-0.5Mo-1.64Cu (wt.%)의 화학 성분적 특성을 가지고 있다. 이 강재의 항복강도는 약 800MPa, 인장강도는 약 840MPa이며 -84°C 에서 150J 이상의 충격 흡수에너지를 가지고 있다.

HSLA 100 강재에 부합되는 용접재료는 아직 개발 중이어서, 현재 HY 100 강재용 용접재료중에서 적정 재료를 선정하고자 예열 온도를 변수로 하여 GMAW, SMAW 및 SAW 용 용접재료에 대하여 G-BOP 시험을 수행하였다. 시험대상의 재료와 G-BOP 시험 조건은 표 1에 나타내었다. G-BOP 시험 결과를 분석하기 위하여 용접부의 경화 특성 즉, 화학 성분, 경도, 미세 조직 뿐 아니라 확산성 수소 함량에 대한 평가를 수행하였다.

Table 1. Welding condition for G-BOP test

기법	용접 재료	예열 온도 (°C)	용접 조건		
			전류(A)	전압(V)	입열량 (kJ/cm)
GMAW	ER95	상온 - 150°C	250	25	19
	ER120				
SAW	ER95 × UM0091		450	30	18
	ER120 × UM0091				
SMAW	E12018-M2		150	25	11

강재의 저온 균열 민감성을 평가하기 위해 y-groove 시편을 이용한 Tekken 시험을 실시하였다. 시험은 표 2에서 보여주는 바와 같이 입열량이 비교적 적은 SMAW와 GMAW 기법으로 예열온도를 변수로 하여 수행하였다.

Table 2. Welding condition for y-groove cracking test

기법	용접재료	예열 온도 (°C)	용접 조건		
			전류(A)	전압(V)	입열량 (kJ/cm)
GMAW	ER95	상온, 50	250	28	17
	ER120				
SMAW	E12018-M2	상온 - 150	170	26	

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 용접재료의 저온균열 민감성

그림 1은 시공별 용접재료의 저온균열 민감성을 예열온도를 변수로 하여 도시한 것이다. 용접재료별 균열의 발생정도는 예열 온도의 증가에 따라 감소하였으며, 균열이 발생하지 않는 최저 예열온도는 GMAW, SAW 및 SMAW 재료 순으로 증가하였다.

일반적으로 용접부의 저온균열 발생율은 경한 미세 조직 (냉각속도, 화학성분), 확산성 수소함량 및 구속도 등에 의해 영향을 받는다. 저온균열 발생율이 가장 낮은 GMA 용착

금속에서의 확산성 수소 함량은 1.83~1.99ml/100gr.이며, SA 용착금속의 경우에는 4.30~4.92ml/100gr. 그리고 SMA 용착금속의 경우에는 2.91ml/100gr. 이었다. 비록 SMA 용착금속의 확산성 수소량이 SA 용착 금속의 보다 적지만 균열 발생율은 오히려 높은 이유는 저입열량에 의한 냉각속도의 증대에 따른 경화 즉, 높은 경도 값 때문이었다. 따라서 GMAW 용 용접재료의 우수한 저온균열 저항성은 시공특성에 따른 낮은 경도 값과 확산성 수소함량에 기인된다고 하겠다.

### 3.2 HSLA 100 강재의 저온균열 민감성

그림 2는 예열 온도 및 용접 재료에 따른 HSLA 100 강재 용접부의 균열발생율을 나타낸 것이다. 균열 방지를 위한 최저 예열 온도는 SMAW에 비해 GMAW 기법이 낮으며, ER120을 이용한 GMA 용접부는 무예열에서도 균열의 발생이 없었다. ER95를 이용한 GMA 용접부에서 무예열시 발생된 균열은 용접부 루트부에서 개시되어 fusion line 근처의 HAZ를 따라 진행되다가 용착금속 내로 전파되었다. 반면 SMAW의 경우에는 균열이 열영향부에서 개시된 것이 아니라 용착금속에서 개시되어 용착금속을 따라 전파되었다. 즉, SMAW에서 평가된 최저 예열온도 100℃는 HSLA 100 강재에 대한 것이 아니고 용접재료에 대한 것임을 알 수 있다. 이 온도는 전 절에서 얻은 결과보다 낮는데, 이는 G-BOP 시편의 구속도가 y-groove 에 비하여 훨씬 크기 때문이다.

## 4. 결 론

1. 항복강도 100 ksi 급 강재에 사용되는 용접재료에 대하여 G-BOP 시험으로 저온균열 민감성을 평가한 결과, 균열방지를 위한 최저 예열온도는 GMAW, SAW 및 SMAW 재료 순으로 증가하였다.
2. HSLA 100 강재의 저온균열 민감성을 y-groove 시편을 이용하여 평가한 결과, ER120 와이어를 이용한 GMAW 시공시 무예열 조건에서도 균열발생이 없었다.

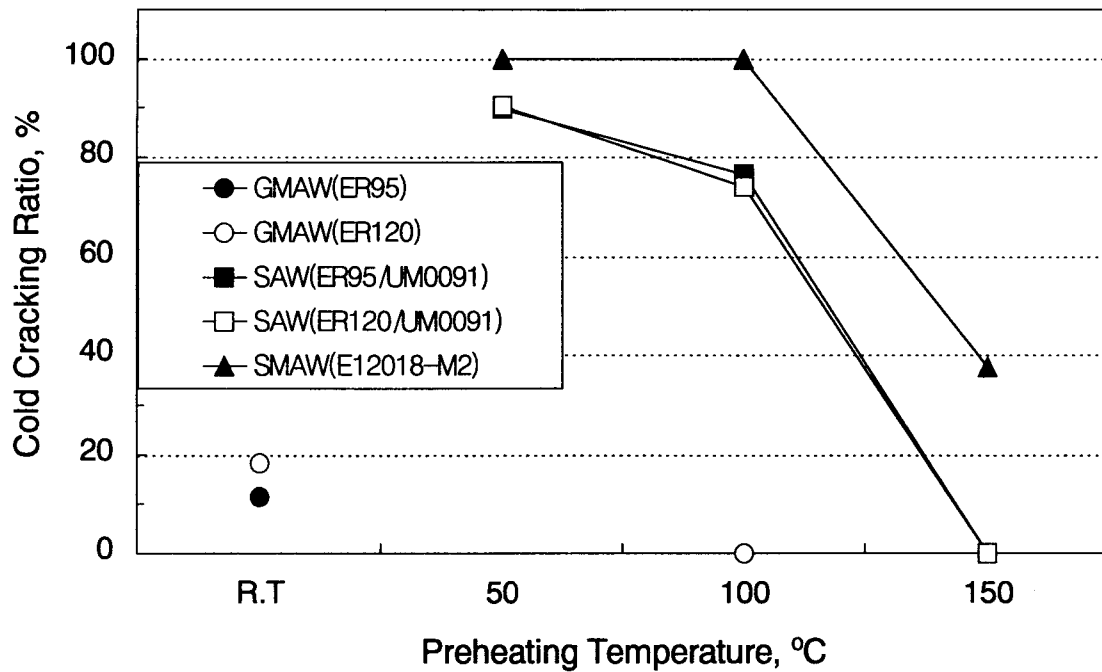


Fig. 1 Effect of preheating on cold cracking susceptibility of welding consumables

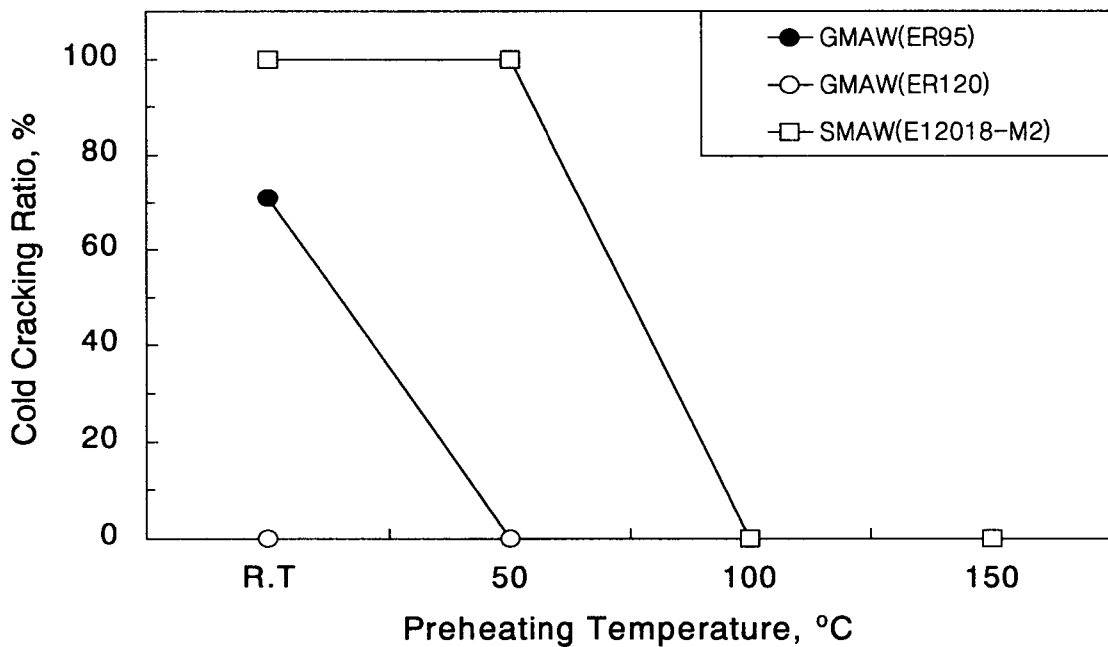


Fig. 2 Effect of preheating on cold cracking susceptibility of HSLA 100 steel